

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN  
- RAE -**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

Vigilada Mineducación

RIUCaC

**FACULTAD INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.**

**LICENCIA CREATIVE COMMONS:** Atribución no comercial

**AÑO DE ELABORACIÓN:** 2019

**TÍTULO:** Trabajo de investigación y análisis hidráulico del golpe de ariete en la conducción y llegada a la PCH de Santa Ana

**AUTOR (ES):** Montes Pastran Karen Ximena y Luis Alejandro Sabogal Urcuqui

**DIRECTOR(ES)/ASESOR(ES):**

Torres Quintero Jesus Ernesto

**MODALIDAD:**

Trabajo de investigación

**PÁGINAS:**  **TABLAS:**  **CUADROS:**  **FIGURAS:**  **ANEXOS:**

**CONTENIDO:**

INTRODUCCIÓN

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN
3. PLANEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA
4. MARCO DE REFERENCIA
5. MARCO CONCEPTUAL
6. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS
7. ALCANCE Y LIMITACIONES
8. METODOLOGÍA
9. RESULTADOS
10. ANÁLISIS DE RESULTADOS
11. CONCLUSIONES
12. RECOMENDACIONES



13. ANEXOS

14. BIBLIOGRAFÍA

**DESCRIPCIÓN:** Análisis hidráulico del golpe de ariete, en la conducción del tunel alterno y tubería de llegada a la PCH de Santa Ana, a partir de la Planta Francisco Wiesner, posteriormente, investigación de este fenómeno en la estructura de chimenea de equilibrio en la PCH de Santa Ana, determinando puntos críticos de presiones máximas y mínimas del sistema, con la ayuda de programas especializados de modelamiento de golpe de ariete.

**METODOLOGÍA:** Para el progreso de las actividades del proyecto es de gran importancia recolectar toda la información correspondiente a la planta de tratamiento, pedir los permisos pertinentes para la visita de campo para recibir información, la elaboración de hipótesis del sistema actual y el diseño de estructuras que puedan ayudar a mitigar la problemática planteada.

**PALABRAS CLAVE:** PÉRDIDAS, OSCILACIONES, CONDUCCIÓN, PRESIÓN, CELERIDAD, TRANSITORIO, PERMANENTE, CAVITACION ,

**CONCLUSIONES:**

El funcionamiento de los sistemas de suministro de agua potable importantes como el sistema Chingaza cuentan con estructuras de conducción importantes como el túnel alterno de Usaqué el cual hidráulicamente gracias su sección blindada y revestida generan menor cantidad de pérdidas por metro lineal de recorrido que las conducciones de tuberías presentes en el sistema.

Considerando caudales de 4,5 metros cúbicos, 9,3 metros cúbicos y 14 metros cúbicos; las máximas pérdidas por conducción de la planta Francisco Wiesner a la PCH Santa Ana son 19,44 metros columnas de agua, es decir, 0,54% de pérdida por cada metro lineal en la red.

Los resultados de carácter hidráulico de la conducción como la celeridad permiten concluir que la velocidad de onda que se generaría en la propagación de un golpe de ariete es la esperada y está entre los rangos normales de flujo a presión, sin embargo, se obtuvo el mayor valor (237,98 metros sobre segundo) en la sección del túnel blindado lo cual es considerable debido a los grandes espesores de esta sección transversal.

## RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE -



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
de Colombia

Vigilada Mineducación

RIUCaC

Es necesario variar el caudal de funcionamiento ya que se generan obras aguas arriba de la planta de tratamiento que cambian la cantidad del suministro, y a su vez la caída de presión que afecta directamente la producción de energía de Santa Ana, las pérdidas de conducción en todo el sistema son mínimas considerando la presión necesaria para turbinar.

Las curvas de oscilación son un indicador preciso para determinar los comportamientos del flujo dentro de los sistemas de control de niveles y así generar un concepto claro sobre el dimensionamiento necesario que se requiere para cubrir la sobrepresión del sistema de conducción.

Con base en los cálculos la almenara abierta para la PCH Santa debe tener una altura de 160 metros ya que se obtuvo en la máxima oscilación un valor de 147 metros teniendo en cuenta un borde libre de 13 metros de longitud o 4 veces el diámetro.

Hidráulicamente la chimenea de equilibrio con aire comprimido existente funciona satisfactoriamente respecto al análisis presentado en el proyecto, siempre y cuando su contenido de aire cumpla con el volumen requerido para ejecutar la presión de diseño requerida o mayor a 150 metros columna de agua que es la sobrepresión máxima.

En la PCH Santa Ana por la geográfica es difícil construir una almenara abierta con la longitud 160 metros y la chimenea de equilibrio con cámara de aire cumple satisfactoriamente las solicitudes del sistema hidráulico.

En el software Allievi se obtiene el punto crítico junto la válvula multichorro, red que trabaja en paralelo con la turbina Francis ya que es el punto que regula la Toma y rechazo del sistema de generación de energía.

Para la modelación se simula el cierre forzado en la válvula multichorro para generar el segundo punto crítico del sistema que está ubicado en la almenara y poder analizar su funcionamiento en la condición más desfavorable.

El golpe de ariete del punto de cierre (válvula multichorro) a la almenara genera una celeridad de 164,78 metros sobre segundo, en un tiempo de cierre de 1,1 segundos y con una longitud de propagación de 25 metros.

**FUENTES:**



1. IVASP. Silvestre, P. (1987). *Mantenimiento, conducción segura y 4x4 de autobombas forestales*.
2. Cabrera, E. E.-S. ( (1996).). *Ingeniería del Agua vol. 2, núm. 2. Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua. Volúmenes I y II. Universidad Politécnica de Valencia. . Valencia*.
3. Campus Tecnológico de la Universidad de Navarra, Escuela Superior de Ingenieros. Laboratorio de Mecánica de Fluidos. Rubio i Vicent, R. (2009). Curso de Especialización.
4. d'Emergència., R. R. (2009). *Fenómeno transitorio de golpe de ariete*. Valencia: Institut Valencià de Seguretat Pública (IVASP).
5. Dr. Otakar Jonas, P. a. (2007). Water hammer and other hydraulic phenomena. *POWER*, [www.powermag.com](http://www.powermag.com).
6. Ernesto Torres Quintero Ingeniero Civil, M. R. (2010). *INVESTIGACIÓN EN PEQUEÑAS CENTRALES EN COLOMBIA*. Bogota D.C - Colombia: Grupo de Investigación TECNOAMBIENTAL.
7. Hidráulica., U. d. (s.f.). *Estudio de Transitorios: El Golpe de Ariete*.
8. HidrojING. (13 de enero de 2015). *HidrojING "Como calcular el Golpe de Ariete"*. Obtenido de <http://www.hidrojing.com/como-calcular-el-golpe-de-ariete/>
9. JP., T. (1989). *Hydraulics of Pipelines - Pumps, Valves, Cavitation, Transients*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
10. KumaR, R. K. (2018). *Water Hammer Analysis of a Run-of-River Hydroelectric Power Plant in Lower Himalaya : A Case Study*. Himalaya: Indian Institute of Technology Roorkee .
11. Mancebo del Castillo, U. (1992). *Unidad Docente de Mecánica de Fluidos. Teoría del golpe de ariete y sus aplicaciones en ingeniería hidráulica*. . Limusa. Mendiluce, E. (1987). .



12. Pérez Farrás, L. y. (s.f.). *El golpe de ariete en impulsiones*. . 2005: Bellisco Librería Editorial.
13. Rivas, A. y. (2004). *Cátedra de Construcciones Hidráulicas. Transitorios en Instalaciones. Golpe de Ariete*. .
14. Robayo, J. A. (2011). *Uso de chimeneas de equilibrio con cámara de aire en instalaciones por gravedad*. Bogota D.C: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTA.
15. Robert Rubio i Vicent. Brigades Rurals d'Emergència. (2009). Fenomeno transitorio de golpe de ariete. Valencia, Valencia: Institut Valencià de Seguretat Pública (IVASP).
16. Rosich, E. M. (1974). *El Golpe de Ariete en Impulsiones 2da Edicion*. Madrid: Bellisco.
17. Saldarriaga, J. (2007). *Hidraulica de Tuberias*. Bogota, Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieros.
18. Suay Belenguer, J. (2002). *Fundamentos de Hidráulica General. Apuntes de Hidráulica*. Limusa.
19. TWYMAN INGENIEROS CONSULTORES LTDA. (2009). TWYMAN J., TWYMAN C. Obtenido de "Golpe de Ariete en Redes de Tuberías": [www.twyman.cl](http://www.twyman.cl), pp. 7
20. Water, Z. J. (1993). *Hammer in Pipe-Line Systems*. Elsevier.
21. Reclamation, B. o. (2012). *Desing of Small Dams*.
22. Zoppetti, G. (1965). *CENTRALES HIDROELÉCTRICAS 3ª Edición*. BARCELONA: Editorial Gustavo Gili.

## **LISTA DE ANEXOS:**

Anexo 1. Plano Túnel Alterno de Usaquén Tipos de Revestimiento Plano T-011

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN  
- RAE -**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
**de Colombia**  
Vigilada Mineducación

RIUCaC

Anexo 2. Túnel Alterno de Usaquén y central hidroeléctrica de Santa Ana  
Diagrama General

Anexo 3. Registro Fotográfico Visita PCH Santa Ana

Anexo 4. Plano Túnel Alterno de Usaquén Tipos de Revestimiento Plano T-007

Anexo 5. Detalle almenara estructuras de control de niveles plantas y cortes  $\frac{1}{2}$

Anexo 6. Manual de mantenimiento Documento No. USHA-44/04-043

Anexo 7. Pérdidas por fricción del Túnel Alterno (Tabla de cálculos)

Anexo 8. Pérdidas por fricción Tubería (Tabla de cálculos)